Vortrag.

Über eine neue Methode, die Structur und Zusammensetzung der Krystalle zu untersuchen, mit besonderer Berücksichtigung der Varietäten des rhomboedrischen Quarzes.

Von dem c. M., **Prof. Dr. Franz Leydolt.**

(Mit V Tafeln.)

(Vorgelegt in der Sitzung vom 16. November 1854.)

EINLEITUNG.

Es wird als eine nothwendige Eigenschaft der Krystalle angenommen, dass der regelmässig begränzte Raum, welchen sie einnehmen, mit einer homogenen Substanz stätig erfüllt sei. Aber sowohl in Beziehung auf die Homogeneität der Materie, als auch auf die stätige Erfüllung des Raumes kommen nicht selten Ausnahmen vor, vorzüglich, wenn mehrere Körper zugleich aus einer Flüssigkeit heraus krystallisiren. Die Zwillinge, Drillinge u. s. w., unterscheiden sich zwar gewöhnlich durch einspringende Winkel von den einfachen Krystallen, nicht selten aber besitzen sie eine diesen ganz ähnliche Gestalt.

Man beurtheilte die Zusammensetzung der Krystalle bis jetzt aus der äusseren Form, aus der Theilbarkeit und aus dem Verhalten gegen das polarisirte Licht, welche Hilfsmittel aber keinesweges für alle Fälle ausreichen, weil, wie erwähnt, zusammengesetzte Krystalle oft Gestalten besitzen, welche mit denen der einfachen Mineralien übereinstimmen; weil ferner nicht allen Mineralspecies die Eigenschaft der Theilbarkeit zukommt, und endlich weil nur durchsichtige Mineralien in Beziehung auf die Erscheinungen im polarisirten Lichte untersucht und beurtheilt werden können.

Zu den merkwürdigsten Mineralien in Hinsicht auf die innere Structur und Zusammensetzung der Krystalle gehören unstreitig die verschiedenen Varietäten der Species: rhomboedrischer Quarz, nämlich der Bergkrystall, Citrin, Rauchtopas und besonders der Amethyst. Alle durchsichtigen Varietäten haben längst durch ihre

ganz eigenthümlichen Polarisations - Erscheinungen die Aufmerksamkeit der Physiker und Mineralogen auf sich gezogen und die Arbeiten von Mohs, Brewster, Airy, Dove, Haidinger u. A. haben uns eine Menge interessanter Eigenschaften dieser Species kennen gelehrt.

Der Quarz krystallisirt im rhomboedrischen Systeme; der Charakter der Combinationen ist hemirhomboedrisch und hemidirhomboedrisch; die Hälften von $2R+n$ und $(P+n)^m$ von geneigten, die von $P+n$ von parallelen Flächen. Die Theilbarkeit ist meistens sehr unvollkommen nach $P, P+\infty$. Etwas vollkommener nach einer Hälfte von P. Die gewöhnlichste Krystallgestalt ist eine Combination von einer gleichkantigen sechsseitigen Pyramide und einem sechsseitigen Prisma, $P.P+\infty$. Ausserdem erscheinen an den verschiedenen Fundorten Krystalle in den mannigfachsten Combinationen, in welcher Beziehung ich auf G. Rose's vortreffliche Arbeit, „Krystallsystem des Quarzes,“ (Berliner Akademie 1844) hinweise. Deutliche leicht erkennbare Zwillingskrystalle, wie bei anderen Mineralien, kommen selten vor, und nur die Lage gewisser Combinationsflächen, eigenthümliche Zeichnungen und besonders beschaffene Flecken auf den Krystallflächen, vorzugsweise auf den Flächen von P, lassen auf eine häufig vorkommende Zusammensetzung schliessen, welche aber von der Zusammensetzung anderer Mineralien, die in demselben Systeme krystallisiren, sehr verschieden ist.

Der Quarz gehört nach seiner Krystallgestalt zu den optisch einaxigen Körpern. Die von den Quarzkrystallen, senkrecht auf die krystallographische Axe, welche zugleich auch die optische ist, geschnittenen Plättchen zeigen aber im polarisirten Lichte mehrere von den anderen optisch einaxigen Körpern verschiedene Erscheinungen. Nur selten ist das bei den anderen einaxigen Mineralien vorkommende dunkle Kreuz deutlich vorhanden, etwas häufiger, namentlich bei den Amethysten, kommen deutliche Spuren davon vor, bei den allermeisten fehlt es in der Mitte ganz, und nur an den entsprechenden Stellen der concentrischen Ringe findet man Andeutungen davon. Dagegen ist in der Mitte ein farbiger Raum, dessen Farbe bei der Drehung der Polarisationsebene des Untersuchungs-Apparates wechselt, und zwar auf eine bestimmte Weise, nämlich aus dem Rothen ins Gelbe, Grüne, Blaue und Violette; bei der einen Gruppe von Quarzplättchen erfolgt diese Farbenänderung, wenn man die

Polarisationsebene von links nach rechts dreht, und bei anderen, wenn rechts nach links gedreht wird. Man hat die Quarze darnach in links und rechts drehende geschieden. Endlich hat man bei einigen obwohl sehr selten, ein eigenthümliches Farbenbild, nämlich vier vom Mittelpunkte der Farbenringe auslaufende Spiralen gefunden, welche auch bald von rechts nach links, bald umgekehrt verlaufen. Ein und dasselbe Plättchen zeigt häufig an verschiedenen Stellen ein verschiedenes Verhalten im polarisirten Lichte.

Durch anhaltende Untersuchungen dieser merkwürdigen Eigenthümlichkeiten am Quarze ist es gelungen, einige dieser Erscheinungen zu erklären und den Zusammenhang derselben mit der äussern Gestalt der Krystalle nachzuweisen. Es gibt Quarzkrystalle, an welchen Combinationen mit den sogenannten Trapezoedern vorkommen, Gestalten, welche man erhält, wenn man die ungleichkantige sechsseitige Pyramide nach dem dritten Verfahren der Zerlegung von Mohs in Hälften zerlegt. In der Combination erscheint die eine Hälfte, wenn man die vertical nach vorwärts gestellte Kante des sechsseitigen Prismas betrachtet, mit Combinations-Flächen zur rechten Hand, die andere zur linken, und man hat daher das eine Trapezoeder ein rechtes, das andere ein linkes genannt. So wurden diese Gestalten von Haüy, Herschel, Mohs, und früher auch von G. Rose und Haidinger benannt. In neuerer Zeit hat man, vorzüglich um eine Gleichförmigkeit mit der Benennung von links- und rechtsdrehenden Plättchen zu erzielen, die umgekehrte Bezeichnung gebraucht. Die beiden letztgenannten Mineralogen haben jetzt die Bezeichnung so angenommen, dass die Trapezoeder, welche bei der obigen Stellung des Prismas rechts erscheinen, linke, und umgekehrt die links erscheinenden rechte genannt werden, und ihre Gründe für diese geänderte Bezeichnung angeführt.

Man hat ferner die merkwürdige Entdeckung gemacht, dass die Krystalle mit rechten oder linken Trapezoedern auch im polarisirten Lichte sich als rechts- oder linksdrehende zeigen, dass also diese Polarisations-Erscheinung mit dem Vorkommen der Combinations-Flächen von bestimmten Trapezoedern in genauem Zusammenhange stehe. Airy hat später gezeigt, dass, wenn man zwei gleich dicke Plättchen eines rechts- und eines linksdrehenden Krystalles auf einander gelegt im polarisirten Lichte betrachtet, jene eigenthümliche mit Spiralen versehene Figur erscheint, welche von ihrem Entdecker

den Namen der Airy'schen Spiralen erhalten hat. Es wurde daraus der Schluss gezogen, dass bei jenen Krystallen, deren Plättchen die Airy'schen Spiralen zeigen, rechts- und linksdrehende Plättchen zugleich den Krystall zusammensetzen.

Häufig sind die Polarisations-Erscheinungen sehr undeutlich und unregelmässig, und wenn man einen Quarz-Krystall in sehr viele ganz dünne Plättchen, parallel mit $P-\infty$ schneidet, findet man jedes mehr oder weniger verschieden. Obwohl nun die Polarisations-Erscheinungen mit der Structur der Krystalle im innigsten Zusammenhange stehen, so kann man sich daraus, wenn andere Anhaltspunkte fehlen, kein genaues Bild von der inneren Zusammensetzung machen. Ich versuchte daher einen neuen Weg zur Ermittelung der inneren Structur der Körper, um sowohl die Art und Weise, als auch die Grenzen jeder Zusammensetzung ganz genau darstellen zu können.

In dem, im Jahre 1824 erschienenen Grundrisse der Mineralogie von Mohs, ist beim Steinsalze folgende merkwürdige Erscheinung angeführt. Wenn Hexaeder dieses Minerals der Einwirkung einer feuchten Atmosphäre anhaltend ausgesetzt werden, so entstehen an den Kanten Flächenpaare, welche einem hexaedrischen Trigonal-Ikositetraeder angehören, und bei fortdauernder Einwirkung verschwinden nach und nach die Flächen des Hexaeders gänzlich. Ich habe diese Veränderung später oftmals mit meinem verehrten Lehrer Mohs besprochen, und seit der Zeit nie verabsäumt, alles hierauf Bezügliche genau zu untersuchen. Als im Mineralien-Cabinete des k. k. polytechnischen Institutes eine Scheidemauer aufgeführt wurde, in deren Nähe der Kasten mit den Salzen stand, wirkte die Feuchtigkeit so auf diese Mineralien, dass ich sie an einen andern Ort bringen musste. Ich hatte nun hinreichend Gelegenheit, die Einflüsse einer feuchten Atmosphäre sowohl auf das Steinsalz, als auch auf die anderen Salze, wie Alaun, Salpeter u. s. w. zu studieren und war im Stande solche Veränderungen an den Krystallen nach Belieben hervorzubringen. Ausser den Abstumpfungen an den Kanten fand ich alle Krystall- und Theilungsflächen des Steinsalzes mit einer unzähligen Menge von regelmässigen vierflächigen Vertiefungen versehen, welche den pyramidalen Ecken der oben angeführten Gestalt entsprechen; nur selten zeigten sich auch dergleichen Erhabenheiten. Beim Alaun waren an den

Oktaederflächen deutlich Vertiefungen von dreiflächigen Ecken, am Salpeter der äusseren Gestalt entsprechende Vertiefungen wahrzunehmen.

Im Jahre 1849 beschäftigte ich mich mit der merkwürdigen Zusammensetzung der Achate, um aus derselben Schlüsse auf ihre Entstehung zu ziehen. Ich setzte sie zu diesem Behufe den Einwirkungen von verdünnter Fluss-Säure aus, und konnte dadurch die Structur derselben deutlich sichtbar machen. Eine kleine Abhandlung in den Jahrbüchern der geologischen Reichsanstalt, II. Jahrgang, II. V. J., S. 124 enthält das Verfahren sie zu ätzen, und die Mittel, welche ich der k. k. Staatsdruckerei angab, um die durch das Ätzen entstandenen Zeichnungen durch den Druck vervielfältigen zu können. Ich hatte damals schon die Beobachtung gemacht, dass wenn die Achate zu lange den Einwirkungen der Fluss-Säure ausgesetzt waren, auch der krystallisirte Quarz theilweise angegriffen wurde. Die darauf entstandenen Zeichnungen aber waren bei der gewöhnlich schiefen Lage der Schnittflächen ohne alle Regelmässigkeit und liessen nichts Besonderes wahrnehmen. Zu gleicher Zeit untersuchte ich die Erscheinungen beim Krystallisiren des Wassers, so wie das Eis in Beziehung auf seine Krystallgestalt. Von den Erfahrungen an den Salzen geleitet, gelang es mir bald an demselben durch langsame Lösung entstandene Vertiefungen, entsprechend einer gleichkantigen sechsseitigen Pyramide aufzufinden. Diese stimmten immer genau mit den regelmässigen Hohlräumen im Innern des Eises und der Krystallisation desselben überein (Sitz. Ber. d. kais. Akad. der Wissenschaften, Wien, Bd. VII, 1851, S. 477). Während der fortgesetzten Untersuchung über die Achate und andere kieselsäurehältige Mineralien behandelte ich auch die verschiedensten Schlacken und Glasflüsse mit Fluss-Säure (Sitz. Ber. d. k. Akad., Bd. VIII, S. 261, 1852). Seit dieser Zeit versuchte ich auf diese Weise die verschiedensten Mineralien mit entsprechenden Säuren zu ätzen, wobei sich als allgemeines Gesetz herausstellte:

1. Durch die Einwirkung einer langsam lösenden Flüssigkeit entstehen auf den natürlichen oder künstlich erzeugten Flächen der Krystalle regelmässige Vertiefungen, welche ihrer Gestalt und Lage nach ganz genau der Krystallreihe entsprechen, in welche der Körper selbst gehört.

2. Diese Vertiefungen sind gleich und in einer parallelen Lage, so weit das Mineral ein ganz einfaches ist; dagegen bei jeder regelmässigen oder unregelmässigen Zusammensetzung verschieden gelagert.

3. Die Gestalten, welche diesen Vertiefungen entsprechen, kommen wie man aus allen Erscheinungen schliessen muss, den kleinsten regelmässigen Körpern zu, aus welchen man sich den Krystall zusammengesetzt denken kann.

So weit diese kleinen Vertiefungen eine vollkommen parallele Lage haben, spiegeln alle gleichnamigen Flächen derselben zu gleicher Zeit, und wenn daher ein Mineral geätzt wird, welches zusammengesetzt ist, wird diese Zusammensetzung selbst durch matte und glänzende Flächen im reflectirten Lichte sichtbar. Darauf beruht die längst bekannte Erscheinung des moirée métallique u. s. w.

Brewster hat in einer interessanten Abhandlung (Phil. Mag. Bd. V, S. 16, 1853) gezeigt, dass an von Natur rauhen Krystallflächen von Topas, Flussspath Hornblende, Axinit, Steinsalz, Eisenglanz, Diamant, ferner an den Flächen von Alaun, Flussspath und Kalkspath, wenn dieselben durch Lösungsmittel oder mit grobem Sande rauh gemacht werden, eigenthümliche optische Figuren entstehen, welche er in sehr schönen Abbildungen darstellte. Dadurch aufmerksam gemacht, untersuchte ich die bei meiner Arbeit erhaltenen Flächen auch in dieser Beziehung und fand ähnliche Lichterscheinungen, die sich jetzt, da ich die Beschaffenheit einer so veränderten Oberfläche ganz genau nachgewiesen habe, leicht erklären lassen. Diese Figuren stimmen immer mit der Gestalt jener kleinsten Theile vollkommen überein, so dass man aus der Gestalt auf die Lichterscheinung und umgekehrt schliessen kann. Da man nun durch das von mir angegebene Verfahren die Structur und Zusammensetzung der Krystalle und die regelmässige Gestalt der kleinsten Theile kennen lernt, und daraus nicht nur das Krystallsystem, sondern auch bei Gestalten der prismatischen Systeme, bei denen die aufrechte Stellung oft willkürlich ist, häufig auch bestimmen kann, wie ein Krystall richtig aufzustellen sei, so beschloss ich eine gründliche Untersuchung möglichst vieler Mineralien in dieser Beziehung und veröffentliche zuerst die Erfahrungen am rhomboe-

drischen Quarze, welcher mir wegen seiner optischen Verhältnisse, so wie wegen der mannigfaltigen Zusammensetzung das wichtigste Mineral schien.

Beobachtungen am rhomboedrischen Quarze.

Ich bediente mich zur Untersuchung der Quarze einer mässig verdünnten Fluss-Säure, welche ich aus 8 Theilen Flussspath und 16 Theilen Schwefelsäure erhielt, wobei 3 Theile Wasser sich in der Vorlage befanden. Die zu untersuchenden Mineralien wurden in eine Platinschale oder in ein Bleigefäss gegeben, mit Flusssäure übergossen und von Zeit zu Zeit die an den Krystall- oder Schnittflächen hervor gebrachten Veränderungen betrachtet. Die Zeit, welche erforderlich ist, um die gewünschte Veränderung zu erhalten, ist bei den verschiedenen Varietäten eine verschiedene. Ich habe die meisten Varietäten von Quarz, von sehr vielen Fundorten theils in ganzen Krystallen, theils nach verschiedenen Richtungen geschnitten und geschliffen, den Einwirkungen der Säure ausgesetzt, und die Veränderungen, welche sich dabei ergeben haben, mit dem Mikroskope untersucht. Am lehrreichsten ist die Betrachtung der geätzten Oberflächen ganzer Krystalle, und von Plättchen, welche senkrecht auf die Axe geschnitten sind.

Untersuchung ganzer Krystalle.

Wenn man ganze Quarzkrystalle den Einwirkungen der Flusssäure aussetzt, so erleiden sie mannigfache Veränderungen, welche die wichtigsten Aufschlüsse über ihre Natur und Zusammensetzung geben. Am häufigsten kommen in der Natur Quarzkrystalle vor, welche blos aus einer Combination von einer sechsseitigen Pyramide mit einem sechsseitigen Prisma, $P. P+\infty$ bestehen und glänzende Flächen von gleicher Beschaffenheit besitzen. Man muss sie daher dem Ansehen nach für einfache Krystalle halten, und kann, da keine Trapezoeder daran erscheinen, aus dem äussern Ansehen nicht beurtheilen, ob sie rechts- oder linksdrehende seien. Legt man nun solche Krystalle, oder wenigstens das eine Ende davon in Fluss-Säure, und lässt sie darin ungefähr zwölf Stunden liegen, so kann man folgende Erscheinungen daran wahrnehmen:

Immer, wenn auch die Krystalle ganz einfach sind, werden sie auf eine bestimmte Weise verändert. Erstens werden gewisse Kanten

entfernt, zweitens entstehen in den Flächen der sechsseitigen Pyramide selbst bestimmte Vertiefungen. Die an den Kanten neu entstandenen Flächen entsprechen Trapezoedern in den vier möglichen Stellungen und auch solchen Gestalten, welche bei ihrer Vergrösserung eine dreiseitige Pyramide, die Hälfte des Dirhomboeders, geben. Bei den Quarzen aus der Marmaros in Ungarn lassen sich diese Umwandlungen am schönsten beobachten und die vier Figuren (Fig. 1, 2, 3, 4) stellen vier solche verschiedene einfache Krystalle vor.

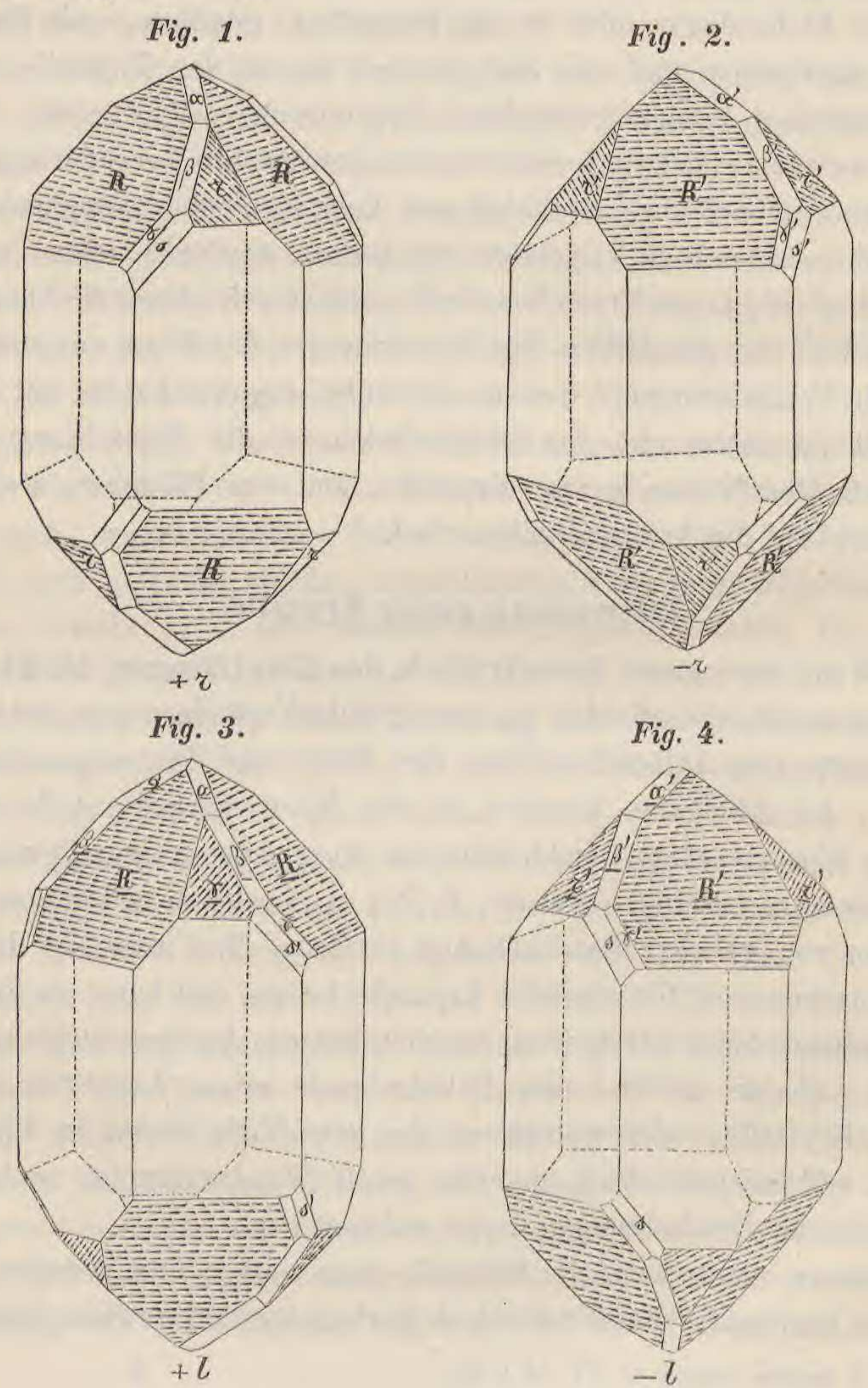


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3. Fig. 4.

Die Krystalle zeigten vor der Behandlung mit Fluss-Säure blos eine Combination des sechsseitigen Prismas mit der sechsseitigen Pyramide. Die Flächen α, β, γ und s sind erst bei der Ätzung entstanden; die drei ersteren entsprechen Trapezoedern, die letztere der oben erwähnten dreiseitigen Pyramide.

Obwohl diese Flächen gewöhnlich etwas uneben und meistens gestreift waren, so war ich doch so glücklich an einem Krystalle aus der Schweiz ebene Flächen zu erhalten.

Mein Herr Assistent Gustav Hannimann hat die Winkel mit dem Reflexions - Goniometer gemessen, und folgende Resultate erhalten:

Winkel der directen Ablesung:		Mithin Winkel an der Kante:	
$r : \beta$	$r : R$	$r : \beta$	$r : R$
15° 3′	46° 14′	164° 57′	133° 46′
15° 0′	46° 17′	165° 0′	133° 43′
14° 57′	46° 18′	165° 3′	133° 42′
15° 5′	46° 13′	164° 55′	133° 47′
14° 57′	46° 14′	165° 3′	133° 46′
15° 9′	46° 12′	164° 51′	133° 48′
14° 56′	46° 17′	165° 4′	133° 43′
15° 5′	46° 19′	164° 55′	133° 41′
14° 55′	46° 18′	165° 5′	133° 42′
14° 59′	46° 16′	165° 1′	133° 44′
15° 0′ 36″	46° 15′ 48″	164° 59′ 24″	133° 44′ 12″

Die Berechnung geschah nach der Formel:

$$r : 1 = \frac{sin\,(p'-p)}{sin\,p'} : \frac{sin\;p}{sin\,2p}.$$

Wenn man hiebei den Mittelwerth 164° 59′ zu Grunde legt, und dann den von Kupffer angegebenen Winkel an der Axenkante von $P = 133^\circ\,44'$ nimmt, so haben wir folgende Daten:

r ist das zu suchende Stück der Nebenaxe der sechsseitigen Pyramide, wo sie von der Ebene β getroffen wird.

$2p$ ist der Winkel an der Axenkante . . = 133° 44′
p = dem halben Winkel . . . . . = 66° 52′
p' = dem Winkel von $\beta : r$ . . . . = 164° 59′
$p'-p$ „ „ „ „ . . . . . = 98° 7′

Es ergibt sich sonach:

$$r : 1 = \frac{sin\;98^0\;7'}{sin\;164^0\;59'} : \frac{sin\;66^0\;52'}{sin\;133^0\;44'}$$

$$(9 \cdot 9956276 - 9 \cdot 4134674) - (9 \cdot 9635957 - 9 \cdot 8888770)$$

das ist:

$$0 \cdot 5821602 - 0 \cdot 1047187 = 0 \cdot 4774415;$$

dem entspricht $r = 3 \cdot 002$, welches der Zahl 3 sehr nahe kommt.

Bringt man nun wirklich 3· in die Rechnung, so ist $p' = 164^0\, 58' 15''$ der gerechnete Winkel, während das Mittel aus den gemessenen Winkeln $164^0\, 59'\, 24''$ ist.

Frägt man nun: welche Ableitungszahl diesem Werthe von $r = 3$ entspricht, so findet man aus der Formel

$$m = \frac{2r-1}{3}$$

durch Substituirung des r dass

$$m = \frac{5}{3} \text{ ist.}$$

Da nun die zu untersuchende Fläche mit parallelen Combinationskanten an den Axenkanten von P, oder was gleichviel ist, von R liegt, so ergibt sich, dass der Axenwerth n des Rhomboeders, welches dieser Fläche zu Grunde zu legen ist, sich bestimmen lässt aus der Formel:

$$n = \frac{2}{4 + 3\,(m-1)},$$

oder unmittelbar aus

$$n = \frac{2}{3 + 2r},$$

woraus man einen Axenwerth erhielt

$$n = \frac{1}{3},$$

daher die Fläche β zu bezeichnen ist durch das Symbol:

$$\beta = \tfrac{1}{3} Tr^{\frac{5}{3}}.$$

Die Fläche α zeigte zwar kein ganz deutliches Bild beim Messen, da sie jedoch mit $\frac{1}{3}\, Tr^{\frac{5}{3}}$ horizontale Combinationskanten bildet, so hat sie dieselbe Ableitungszahl $m = \frac{5}{3}$; und da sie mit parallelen Combinationskanten zwischen R und R liegt, so lässt sie sich mit Sicherheit bestimmen als:

$$\alpha = \tfrac{1}{5} Tr^{\frac{5}{3}}.$$

Die Fläche s bildet mit R und r gleiche Winkel, und da sie mit parallelen Combinationskanten zwischen R und g liegt, so entspricht

sie der Fläche des Grundrhomboeders, weil sie aber bei einfachen Krystallen stets an derselben Kante des $P+\infty$ vorkommt, so ist sie die dreiseitige Pyramide

$$s = \frac{2R}{2}.$$

Wenn sie nicht schon vorhanden ist, so entsteht sie immer beim Ätzen.

Die Fläche γ endlich war zu uneben, als dass sie sich hätte durch Messung ermitteln lassen, doch hat sie sehr schöne parallele Combinationskanten zwischen R und s, und in einigen Krystallen war sehr deutlich zu bemerken, dass sie zwischen g und β ebenfalls mit parallelen Combinationskanten liegt. Ist dies wirklich der Fall, dann ist

$$\gamma = \tfrac{1}{3}\, Tr^{\frac{7}{3}}.$$

Es wäre somit die krystallographische Form eines einfachen Krystalles, der vor der Ätzung aus nichts anderem, als aus der Combination der sechsseitigen Pyramide mit dem dazugehörigen sechsseitigen Prisma besteht, nach der Ätzung durch das krystallographische Zeichen auszudrücken

$$\underset{R}{\frac{r}{l}\,\frac{P}{2}}\ \underset{r}{\frac{l}{r}\,\frac{P}{2}} \cdot \underset{g}{P+\infty} \cdot \underset{s}{\frac{2R}{2}} \cdot \underset{\alpha}{\tfrac{1}{5}\,Tr^{\frac{5}{3}}} \cdot \underset{\beta}{\tfrac{1}{3}\,Tr^{\frac{5}{3}}} \cdot \underset{\gamma}{\tfrac{1}{3}\,Tr^{\frac{7}{3}}}.$$

Der Lage der Trapezoeder-Flächen gemäss, kann man rechte und linke beobachten; das Zusammenerscheinen dieser Gestalten zeigt, dass man unterscheiden muss zwischen

$$+r, \ -r, \ \ldots \ +l, \ -l.$$

Zuweilen entstehen an allen Kanten Flächen, und zwar an dem abwechselnden Paare, so dass ein rechtes und linkes Trapezoeder zugleich an einer Kante vorkommt, oder es bilden sich nur an den abwechselnden Kanten solche Paare von Flächen, welche einer sechsseitigen Pyramide entsprechen, deren Art von der Winkelbeschaffenheit abhängt.

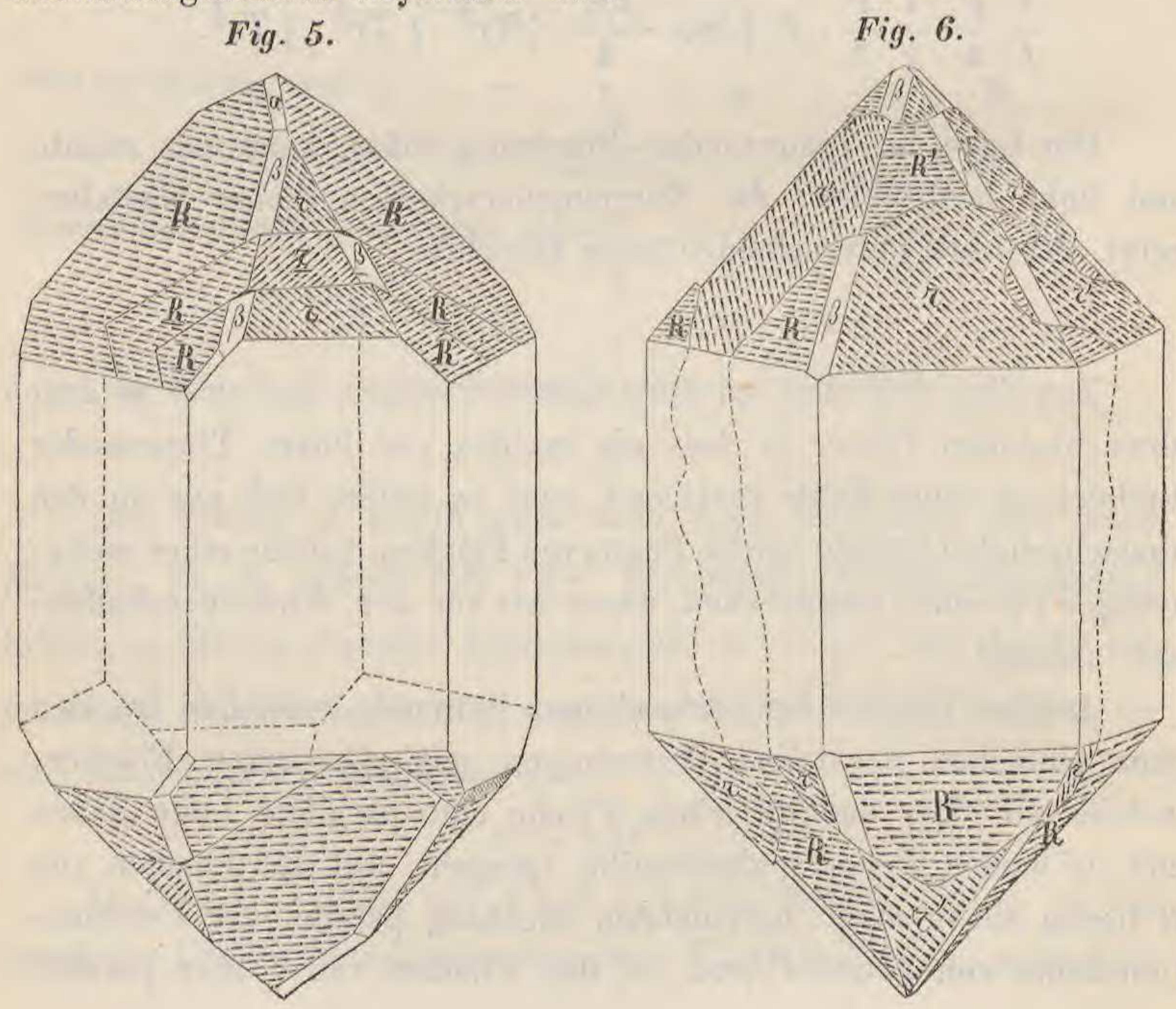
Auf den Flächen der sechsseitigen Pyramide entstehen bei den ganz einfachen Krystallen Vertiefungen mit glänzenden Flächen, welche auf einer und derselben Fläche eine parallele Lage haben und auf beiden R und r gleichzeitig spiegeln. Auf den Flächen von R liegen sie in einer horizontalen Richtung parallel der Combinationskante von P und $P+\infty$, uf den Flächen von r aber parallel

der Kante von R und R. Es haben also diese entstandenen Vertiefungen genau die Lage von $\frac{P-1}{2}$, d. i. der rhomboederähnlichen Hälfte der gleichkantigen sechsseitigen Pyramide, entstanden nach dem zweiten Verfahren der Zerlegung. Aus dem Hervortreten der Trapezoeder-Flächen kann man nun bei jedem Quarze bestimmen, ob er ein rechtsdrehender oder ein linksdrehender ist, und auch oft aus der Betrachtung erkennen, ob das geschnittene Plättchen im Polarisations-Instrumente das schwarze Kreuz zeigt.

Dies sind die Erscheinungen an ganz einfachen Krystallen.

Weit häufiger kommen aber mannigfach zusammengesetzte in der Natur vor, und diese Zusammensetzung wird durch die Einwirkung der Fluss-Säure auch bei solchen Krystallen vollkommen deutlich sichtbar, bei welchen man vor der Ätzung keine Spur davon bemerken konnte. Ich habe auf diese Art sehr häufig vorkommende Zwillingsbildungen am Quarze der Marmaros, von Compostella, Frascati und vielen andern Fundorten entdeckt, an welchen die Flächen eine vollkommen gleiche Beschaffenheit hatten. Figur 5 und 6 stellen Fälle von solchen, durch langsame Auflösung veränderten zusammengesetzten Krystallen dar.

Fig. 5. *Fig. 6.*



Da an jedem der beiden Individuen die oben erwähnten Trapezoeder-Flächen, so wie an den Flächen der sechsseitigen Pyramide die Vertiefungen von $\frac{P-1}{2}$ nach einem bestimmten Gesetze entstehen, so werden dadurch die Theile des einen und des andern in der Zusammensetzung enthaltenen Individuums, scharf abgegrenzt und so die Structur genau sichtbar gemacht.

Man sieht deutlich, dass hier eine Verbindung und innige Durchwachsung stattfindet, und zwar:

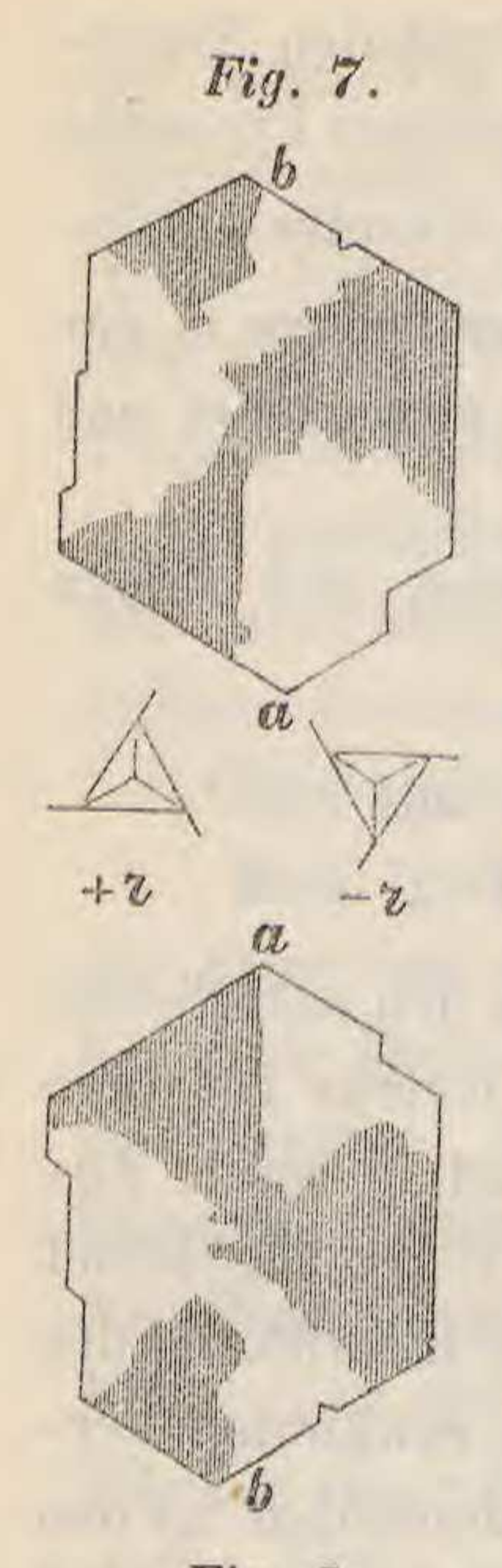
bei Fig. 5 von $+r$ mit $+l$, . . . oder $-r$ mit $-l$
„ „ 6 „ $+r$ „ $-r$, . . . „ $+l$ „ $-l$.

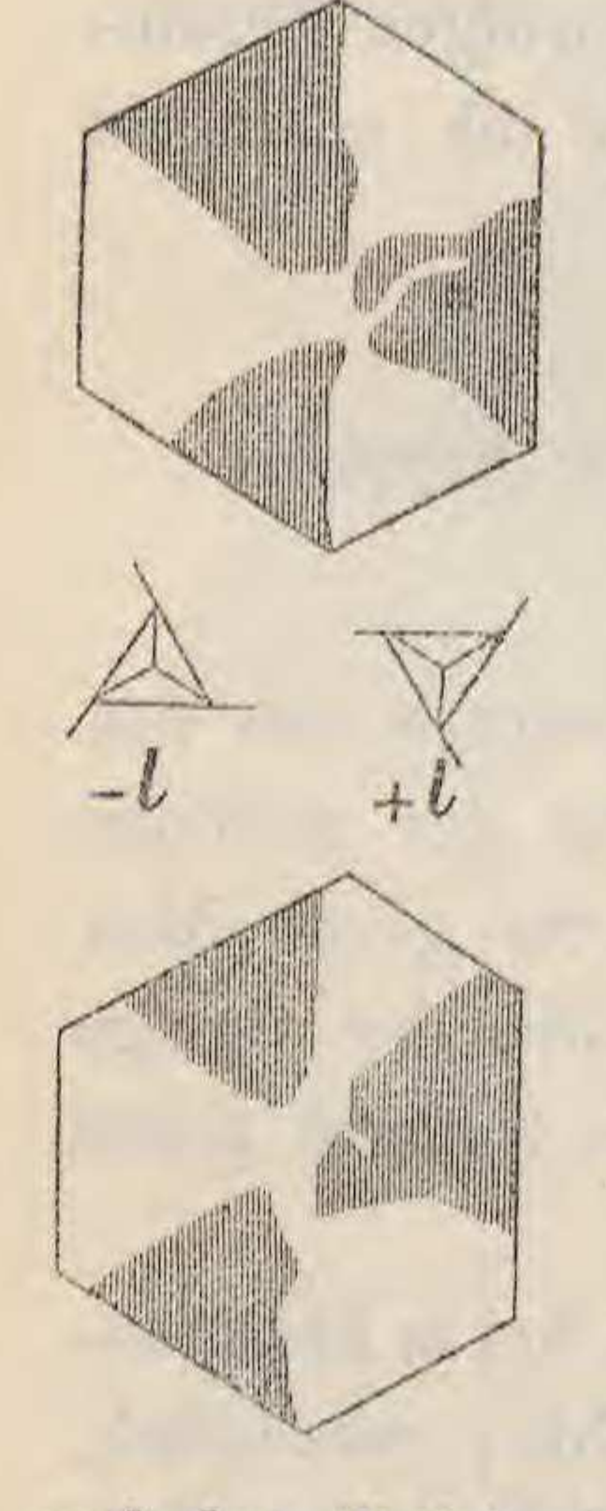
Bei vielen Quarzkrystallen zeigen sich schon an den natürlichen Flächen eigenthümliche Flecken und Streifungen, welche auf eine Zusammensetzung schliessen lassen und G. Rose hat in seiner Abhandlung mehrere sehr interessante Krystalle dieser Art abgebildet und erklärt. Setzt man nun einen solchen Krystall der Einwirkung der Fluss-Säure aus, so entstehen eben auch die oben erwähnten Veränderungen, die schon früher merkbaren Verschiedenheiten an den Flächen werden nun ganz deutlich, und die Zusammensetzung wird genau sichtbar gemacht. Die verschiedenen merkwürdigen Zusammensetzungen, welche ich beobachtet habe, werde ich später in einer ausführlichen Abhandlung besprechen.

Untersuchung senkrecht auf die Axe geschnittener Krystallplättchen.

Die Erfahrungen, welche ich an den vielen Quarzen von den verschiedensten Fundorten durch eine Untersuchung der geätzten Oberflächen von Plättchen, die parallel zu $P-\infty$ geschnitten wurden, gemacht habe, überzeugten mich, dass dies der einzige Weg ist, um die besondere Zusammensetzung des Quarzes genau kennen zu lernen.

Die Quarze zeigen, wenn sie nicht einfach sind, bei in bestimmter Richtung reflectirtem oder durchgelassenem Lichte, vorzüglich, wenn man das Plättchen gegen einen dunkleren Gegenstand hält, eigenthümliche Zeichnungen, indem ein Theil derselben matt, der andere dagegen glänzend erscheint, was aber wechselt, wenn man das Plättchen um 30° oder 180° herumdreht.





Bei mehreren wurden nur zwei Töne von matt und glänzend beobachtet, und die dadurch entstandene Zeichnung war bei verschiedenen senkrecht auf die Axe desselben Krystalles geschnittenen Plättchen, eine ziemlich gleichförmige. Fig. 7 stellt die beiden Schnittflächen eines Plättchens eines Rauchtopases, Fig. 8 die eines Bergkrystalles dieser Art dar.

Bei anderen dagegen sind deutlich vier Töne von matt und glänzend bemerkbar, wie dies die getreu nach der Natur gezeichnete Abbildung (Taf. IV, Fig. 1) zeigt. Diese verschieden mehr matt oder glänzend erscheinenden Stellen können nur von verschieden gelagerten reflectirenden Flächen herrühren.

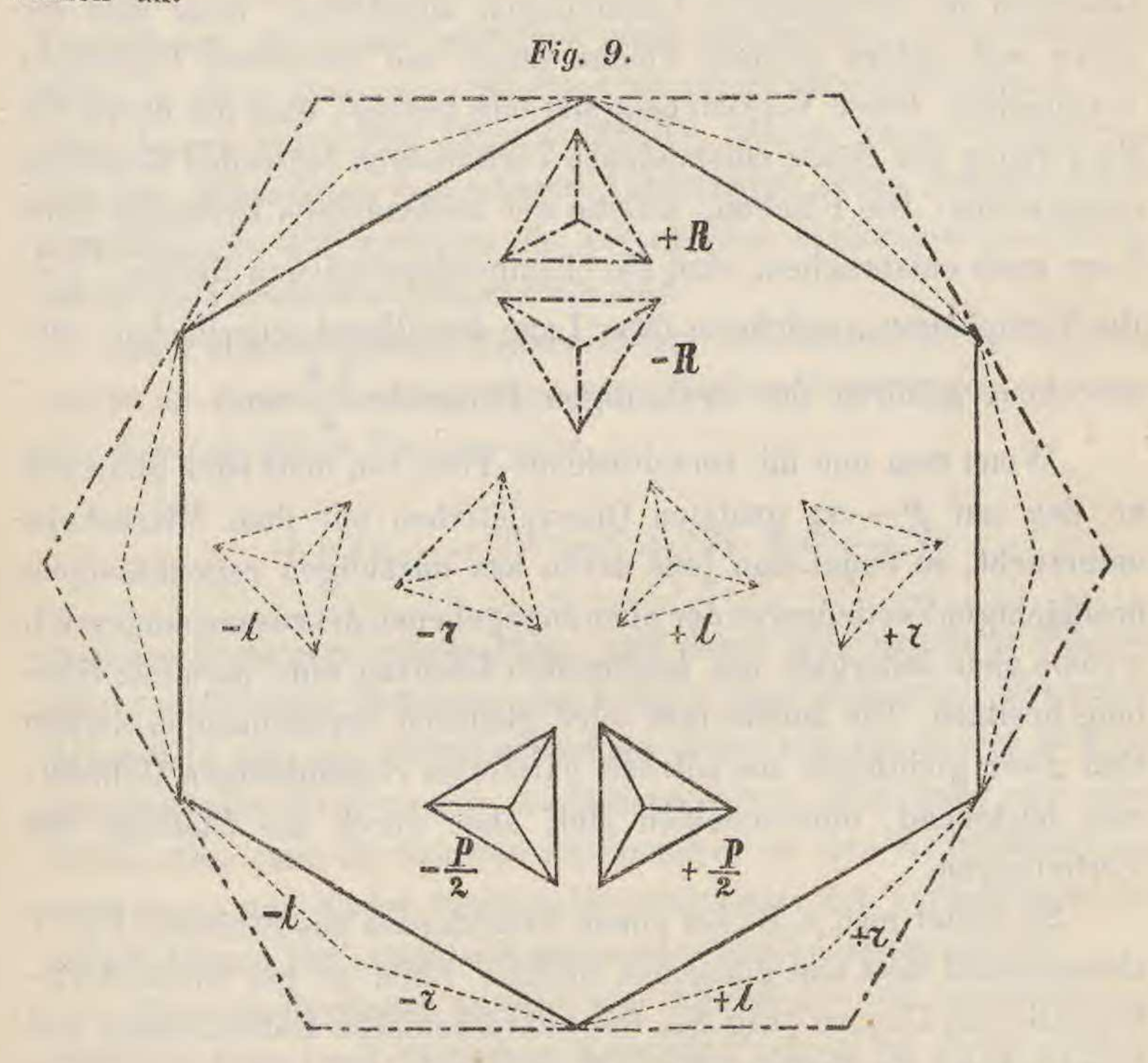
Es wurden daher die Oberflächen der Platten einer genauen, mikroskopischen Untersuchung unterworfen, bei welcher ich mich eines Plössl'schen Mikroskopes mit einer Vergrösserung von 120—500 bediente.

Es zeigten sich nun in den geätzten Krystallplatten sehr kleine regelmässige Vertiefungen ganz nahe an einander, so dass dadurch die ganze Platte etwas rauh erschien. Diese Vertiefungen entsprechen theils einem dreiflächigen, gleichwinkeligen und gleichkantigen Ecke, ohne alle anderen Seitenflächen, theils einer Combination von einem solchen Ecke mit drei gewundenen seitlich angesetzten Flächen. Die Flächen dieser dreiseitigen Vertiefungen und die damit verbundenen Combinations-Flächen sind glänzend, haben eine bestimmte Lage gegen die Flächen des sechsseitigen Prismas, und reflectiren daher das Licht auf eine ganz bestimmte Weise. Die unter den Fig. 7 und 8, so wie auch auf den Tafeln I, II, III und IV gezeichneten dreiflächigen Ecke, stellen die durch das Ätzen entstandenen Vertiefungen ihrer Gestalt und Stellung nach dar.

Um nun aus der Lage der dreiflächigen Ecken und Flächen ihre Bedeutung genau beurtheilen zu können, ist es nothwendig, gewisse Gestalten des rhomboedrischen Systemes etwas näher zu betrachten.

Fig. 9 gibt den Querschnitt der verschiedenen Prismen und die Stellung der möglicher Weise vorkommenden rhomboedrischen Ecken an.

Fig. 9.



Mit dreiflächigen Ecken erscheint das Rhomboeder, ferner zwei Paare von Hälften, wenn man die gleichkantige, sechsseitige Pyramide nach dem zweiten und dritten Verfahren von Mohs zerlegt; das erstere Paar sind rhomboederähnliche Gestalten, das zweite dreiseitige Pyramiden. Zerlegt man die ungleichkantige, sechsseitige Pyramide, so erhält man nach dem zweiten Verfahren ebenfalls zwei rhomboederähnliche Gestalten, und nach dem dritten Zerlegungsgesetze ein linkes und ein rechtes Trapezoeder, und endlich, wenn wir uns eine Dipyramide durch die Durchdringung zweier ungleichkantiger, sechsseitiger Pyramiden in verwendeter Stellung denken, so können wir vier Trapezoeder, durch die Zerlegung erhalten

nämlich zwei rechte $+rTr$ und $-rTr$
und „ linke $+lTr$ „ $-lTr$.

Alle diese Gestalten haben dreiflächige rhomboedrische Ecken und gegen das sechsseitige Prisma $P+\infty$ eine bestimmte Stellung. Um genau beurtheilen zu können, welchen der oben angeführten Gestalten die dreiflächigen Vertiefungen angehören, muss man die obere und untere geätzte Fläche eines und desselben Plättchens vergleichen. Diese Vergleichung hat nun gezeigt, dass die durch die Einwirkung der Säure entstandenen Vertiefungen folgenden Gestalten entsprechen: Die Flächen, welche der sechsseitigen Pyramide ihrer Lage nach entsprechen, sind die rhomboederähnlichen Hälften $\frac{P-1}{2}$, die Vertiefungen, welche in ihrer Lage den Rhomboederflächen entsprechen, gehören der dreiseitigen Pyramide $\frac{2R}{2}$ an.

Wenn man nun die verschiedenen Töne von matt oder glänzend an den auf $P-\infty$ geätzten Quarzplättchen mit dem Mikroskope untersucht, so findet man jede davon aus unzähligen regelmässigen, dreiflächigenVertiefungen der oben angegebenen Art zusammengesetzt, welche aber innerhalb der bestimmten Grenzen eine parallele Stellung besitzen. Die anders matt oder glänzend erscheinenden Stellen sind zwar gleichfalls aus solchen parallelen regelmässigen Hohlräumen bestehend, unterscheiden sich aber durch die Stellung der Vertiefungen.

So findet man z. B. bei einem Rauchtopase aus Sibirien, Fig. 7 abwechselnd matt und glänzende Stellen. Eben so bei einem Bergkrystalle aus Ungarn (Fig. 8). Die mikroskopische Untersuchung und Vergleichung der Stellung dieser Vertiefungen mit dem sechsseitigen Prisma $P+\infty$ zeigt nun, dass die rhomboedrischen Ecken gegen einander in verwendeter Stellung sich befinden, und den Hälften der gleichkantigen sechsseitigenPyramide $+\frac{P}{2}$ und $-\frac{P}{2}$ entsprechen.

Aus der Vergleichung der oberen und unteren Seite des Plättchens geht hervor, dass diese Hälften die rhomboederähnlichen Hälften der sechsseitigen Pyramide und nicht die dreiseitigen Pyramiden sind. Man kann also dadurch genau bestimmen, dass der ganze Krystall aus einer Verbindung von zwei Hälften der gleichkantigen sechsseitigen Pyramide besteht, welche sich durchdringen. An den Grenzen der matten und glänzenden Flächen sieht man häufig beide dieser

Ecken in den betreffenden Stellungen mit einander verbunden, so dass sie einen ganz kleinen Zwilling darstellen. Die erwähnten Krystalle wurden in viele Plättchen geschnitten, und an allen eine ziemlich gleiche Zusammensetzung wahrgenommen. Bei anderen solchen geätzten Plättchen werden viererlei verschiedene Stellen sichtbar, welche sich durch mehr oder weniger matt und glänzend auszeichnen. Am besten zeigt sich diese Erscheinung, wenn man eine Platte in einer bestimmten Stellung bei schief durchgehendem Lichte einer Lampe betrachtet. Fig. 1, Taf. IV, zeigen ganz naturgetreue mit dem Mikroskope gezeichnete Abbildungen eines Bergkrystalles aus Schlesien, bei welchem die verschieden erscheinenden Partien durch die Farbentöne ausgedrückt sind.

Die mikroskopische Untersuchung bei starker Vergrösserung zeigte an diesen vier verschiedenen Theilen Vertiefungen, welche den vier möglichen Trapezoedern

$$+rTr, \quad -rTr \text{ und } +lTr \text{ und } -lTr$$

in ihren Stellungen entsprechen, und durch die Lage ihrer Flächen eine verschiedene Reflexion des Lichtes hervorbringen. Der ganze Krystall ist also aus einer Verbindung dieser vier durch ihre Stellung verschiedenen Trapezoeder zusammengesetzt. Man kann auf diese Weise alle, auch die feinsten Zeichnungen an den Krystallplättchen analysiren, und findet überall die Stellungen der Vertiefungen den verschiedenen Varietäten von matt und glänzend entsprechend.

Die verschiedenen parallel der Fläche $P-\infty$ geschnittenen Plättchen eines und desselben Krystalles zeigen an ihren geätzten Oberflächen entweder immer eine ähnliche Zeichnung, was z. B. bei jenen Fig. 7 und 8, und bei dem Taf. III, Fig. 1 abgebildeten der Fall war; oder es ist jede Fläche vor allen andern mehr weniger verschieden wie bei dem Krystalle, von welchem eine Fläche auf Taf. IV, Fig. 1 dargestellt ist.

Denkt man sich die an den parallelen Plättchen desselben Krystalles erscheinenden Zeichnungen verbunden, so bekommt man ein getreues Bild von seiner ganz wunderbaren Zusammensetzung. Man kann sich bei dieser Betrachtung der Vorstellung nicht erwehren, dass der ganze Krystall aus ganz kleinen regelmässigen Körpern in bestimmten Stellungen zusammengesetzt sei, und dass die meisten

Quarze aus Gestalten bestehen, welche als die Hälften der vollflächigen zu betrachten sind.

Vergleicht man diese durch die Einwirkung der Säure entstandenen Zeichnungen und die Vertiefungen, aus welchen sie bestehen, mit den Polarisations-Erscheinungen, so findet man, dass dieselben nicht nur genau damit übereinstimmen, sondern auch, dass die geätzten Flächen noch mehr zeigen, indem hier alle aus den vier Trapezoedern zusammengesetzten Stellen deutlich sichtbar werden, während man im polarisirten Lichte nur zweierlei verschieden zusammengesetzte Stellen unterscheiden kann, nämlich rechts und links. Ob es aber $+r$ und $-r$ oder $+l$ und $-l$ ist, kann man durch die Polarisations-Erscheinung nicht erkennen. Es leuchtet somit ein, dass diese geätzten Plättchen uns mehr Aufschluss geben, als die Untersuchungen im polarisirten Lichte. Taf. IV, Fig. 2 zeigt die Polarisations-Erscheinung desselben Krystallplättchens, dessen geätzte Fläche Taf. IV, Fig. 1 dargestellt ist. Es wurde zu diesem Zwecke dasselbe Krystallplättchen, nachdem es vorher geätzt und genau gezeichnet worden war, sehr dünn geschliffen, um die Polarisations-Erscheinung möglichst rein zu bekommen. Man sieht aus Allem, dass man die Zusammensetzung der Quarze nur durch diese Untersuchungsmethode genau kennen lernen kann, da man es nur immer mit einer Fläche zu thun hat, während bei der Polarisations-Erscheinung alle unterliegenden Theile, die oft, wie die Erfahrung zeigt, sehr verschieden sind, einen Einfluss auf das Bild ausüben, und man so nur die Gesammtwirkung aller über einander gelagerten Theilchen erhält, und ferner $-r$ und $-l$ im polarisirten Lichte nicht unterschieden werden können. Ganz besonders merkwürdig in Hinsicht der Zusammensetzung sind die Amethyste von verschiedenen Fundorten, welche ich in einer ausführlicheren Arbeit abhandeln werde.

Methode, um von den geätzten Flächen für die mikroskopische Untersuchung genaue Abdrücke zu erhalten.

Die Vertiefungen, welche durch die Fluss-Säure an den Quarzen erzeugt werden, sind in der Regel so klein, dass man sie nur bei sehr starken Vergrösserungen genau beurtheilen kann. Da dies aber nur im durchgelassenen Lichte leicht ausführbar ist, die Krystallplättchen einerseits durch das Ätzen ihre Durchsichtigkeit mehr oder weniger verlieren, und es andererseits überhaupt wünschenswerth ist, auch

undurchsichtige Körper oder solche, welche man wegen ihrer Grösse nicht unter das Mikroskop bringen kann, mit derselben Leichtigkeit untersuchen zu können, suchte ich von der geätzten Oberfläche Abdrücke zu erhalten, welche unter dem Mikroskope betrachtet werden können. Von allen bei den Achaten angewandten Mitteln fand ich hier die Hausenblase, deren auch Brewster in seiner Abhandlung erwähnt, am brauchbarsten, nur dürfen die zu überziehenden Körper nicht im Wasser löslich sein.

Ich nehme eine gute Sorte Hausenblase, löse selbe auf, indem ich sie im Wasser längere Zeit koche, und filtrire die Lösung durch feine Leinwand. Die Plättchen werden mit einer Flüssigkeit, bestehend aus drei Theilen Wasser und einem Theile Ochsengalle, überstrichen, und nachdem sie trocken geworden sind, mit Hausenblase überzogen. Die noch etwas warme Lösung wird am besten mit einem grösseren Haarpinsel auf die Fläche gebracht, bis dieselbe ganz bedeckt ist, und dann noch eine geringe Quantität dazugegeben, dass eine etwas convexe Oberfläche entsteht, damit das Plättchen nach dem Eintrocknen nicht zu dünn wird. Es währt ungefähr 12 bis 16 Stunden, bis die Hausenblase trocken ist, welche Zeit von der Grösse des Plättchens abhängt. Dann löst man dieselbe mit einem Messer vom Rande aus sorgfältig ab und bewahrt den ganz genauen Abdruck zwischen zwei Gläser für mikroskopische Untersuchungen auf. Bei Körpern, welche im Wasser löslich sind, habe ich die Untersuchung entweder unmittelbar an den Plättchen vorgenommen, oder zuerst Abdrücke mit erwärmter Guttapercha gemacht, und auf diese dann Hausenblase aufgetragen.

Noch zweckmässiger kann man in diesem Falle Collodium anwenden. Nur ist zu bemerken, dass man um brauchbare Abdrücke durch dasselbe zu erhalten, das Überziehen des Körpers in einer mit einem Deckel versehenen Schale, in welcher sich etwas Schwefeläther befindet, vornehmen muss, weil sonst das Collodium zu schnell austrocknet, am Rande sich ablöst und das Plättchen ganz runzlich wird. Der Abdruck muss auch sogleich zwischen Glas aufbewahrt werden.

Solche Abdrücke können dann bei den stärksten Vergrösserungen untersucht und gezeichnet werden. Wenn man dem Beleuchtungsspiegel eine solche Lage ausser der Axe des Mikroskopes gibt, dass das reflectirte Licht schief auf das Object auffällt, und dabei eine geringe Vergrösserung, etwa eine 20- bis 40malige anwendet,

so sieht man ganz ausgezeichnet die verschiedenen Abänderungen von matt und glänzend, kann ein ganz getreues Bild davon zeichnen, und bei starker Vergrösserung die Gestalt und Stellung der Abdrücke der Vertiefungen ermitteln. Auf diese Weise war es mir möglich auch ganz undurchsichtige Quarze mit derselben Genauigkeit in Beziehung auf ihre Structur und Zusammensetzung zu untersuchen, und Abdrücke der verschiedensten Quarzbildungen an Andere abzugeben, welche sich besonders dafür interessirten.

An den Copien der geätzten Quarzplatten erscheinen auch interessante Reflexions- und Beugungs-Phänomene. Wenn man nämlich mit einem Auge durch eine Fläche, welche eine gleiche Beschaffenheit besitzt, das heisst wo sich die dreiflächigen Ecken in einer parallelen Stellung befinden, ein Licht betrachtet, sieht man ein leuchtendes Dreieck in einer der Lage der Flächen jener Vertiefungen entsprechenden Gestalt; sieht man durch eine nahe liegende anders glänzende Fläche, so nimmt man ebenfalls ein solches Dreieck in der verwendeten Stellung wahr. Betrachtet man einen Theil der Platte, wo die dreiflächigen Ecken nahe beisammen in paralleler und verwendeter Stellung stehen, so bemerkt man auch eine Verbindung von den beiden leuchtenden Dreiecken, und es entsteht ein regelmässiger sechseckiger Stern. Ganz besonders schön ist eine Beugungserscheinung, welche bei manchen Amethysten nach dem Ätzen sichtbar wird und auch auf die Hausenblase übergeht. Es ist dies ein Irisiren, das von den sehr feinen Linien bewirkt wird, durch welche die einzelnen Platten, aus denen diese Amethyste bestehen, sichtbar werden, eine Erscheinung, die bei den Amethysten näher erklärt werden soll.

Schlussbemerkung.

Aus der Untersuchung der geätzten Flächen ergibt sich also, dass die Veränderungen auf der Fläche von $P-\infty$ von dreierlei Art sind (auf der theoretischen Tafel V sind alle diese Fälle dargestellt und zwar bei tausendmaliger Vergrösserung):

I. Es entstehen Vertiefungen, welche blos einem dreiflächigen, gleichwinkeligen und gleichkantigen Ecke entsprechen. (Taf. III, Fig. 2, 3.)

II. Es bilden sich dreiflächige Ecke, an welchen durch Combination mit Trapezoedern rechts oder links gewundene Kanten entstehen (Taf. III, Fig. 4, 5, 6, 7) und

III. Es zeigen sich geradlinige Streifen entweder auf der ganzen Oberfläche oder nur an einzelnen Stellen, welche den Seiten von $P+\infty$ parallel sind.

Ad I. Die dreiflächigen Vertiefungen ohne gewundenen Kanten entsprechen:

1. Der Gestalt $\pm\frac{P-1}{2}$ der rhomboederähnlichen Hälfte (Taf. V, *a*, *b*) der gleichkantigen sechsseitigen Pyramide, wie dies besonders an einem grossen Rauchtopase aus Sibirien zu beobachten ist. An der Grenze der matten und glänzenden Partie sieht man häufig, wie diese Dreiecke sich zu kleinen Zwillingen verbinden.
2. Der Gestalt $\pm\frac{2R}{2}$ der dreiseitigen Pyramide (Taf. V, Fig. *d*, *e*); wenn diese Gestalten neben den oben erwähnten Trapezoedern zu stehen kommen, so bilden sie regelmässige Grenzen.

Ad II. Diese Arten von Vertiefungen erscheinen in vier verschiedenen Stellungen, nämlich $+r$, $-r$ und $+l$, $-l$, und es sind hier selbst wieder drei Fälle möglich:

1. Es verbinden sich $+r$ und $+l$, in welchem Falle häufige Beobachtungen gezeigt haben,

   α. dass r e c h t s und l i n k s sich immer in g e r a d l i n i g e n und regelmässigen Begrenzungen berühren, welche den Seiten von $P+\infty$ parallel sind (Taf. I und Taf. V, *f*, *g*, *h* und *i*), oder

   β. es erscheinen blos $+r$ und $-r$ oder $+l$ und $-l$, und dann ist die Grenzlinie immer mehr oder weniger k r u m m und die Begrenzung selbst eine unregelmässige (Taf. II und Taf. V, *g*, *i*, *f* und *h*);

   γ. es verbinden sich in einem und demselben Quarzkrystalle alle vier durch ihre Stellung verschiedenen Gestalten (Taf. III, Fig. 1 und Taf. IV, Fig. 1), wobei man wieder deutlich sieht wie sich r e c h t s und l i n k s regelmässig, p l u s und m i n u s unregelmässig begrenzen.

   Der Grund, wesshalb zwischen r e c h t s und l i n k s stets eine regelmässige, zwischen p l u s und m i n u s eine unregelmässige Grenze auftritt, liegt darin, dass die

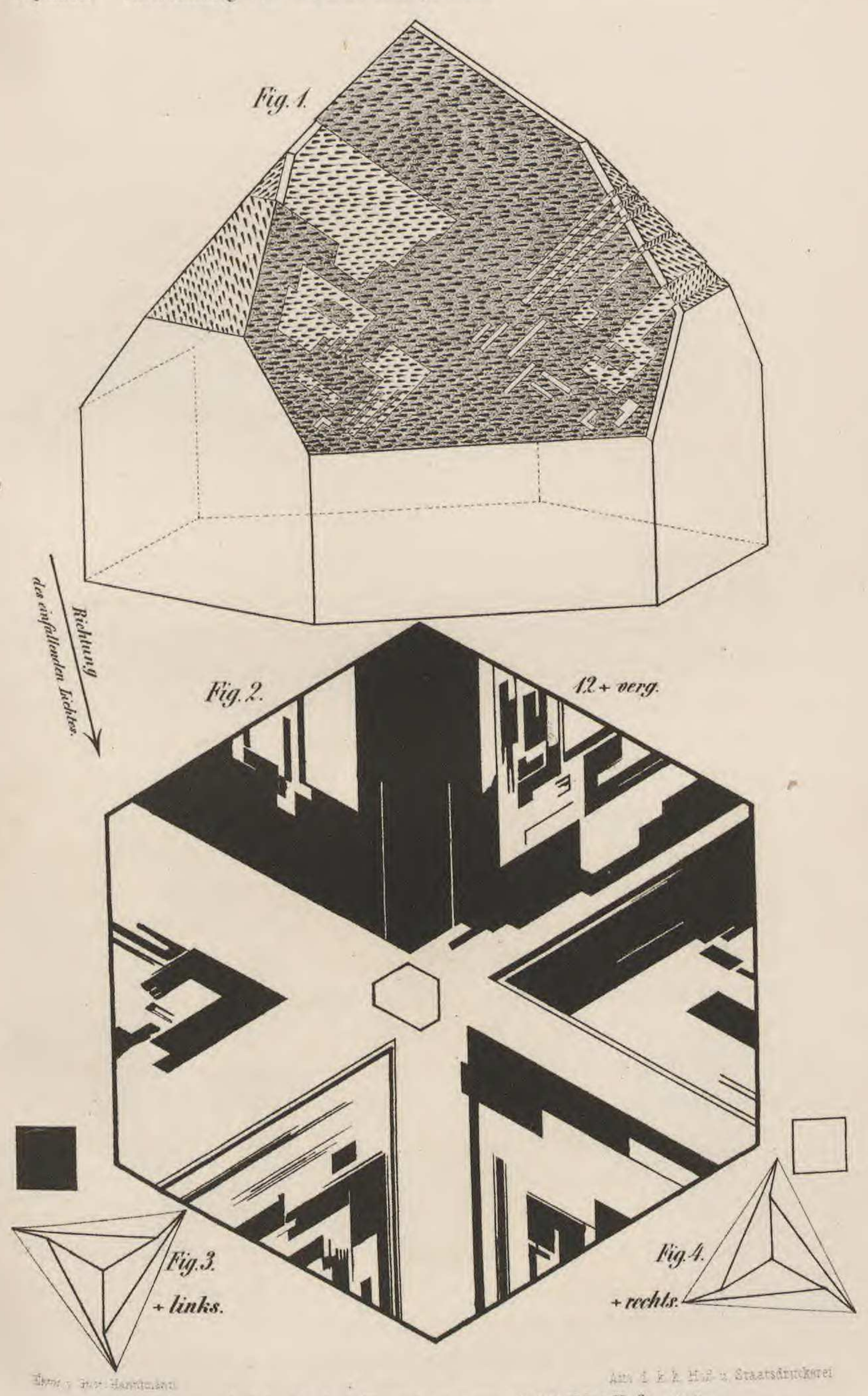
äussersten Flächen der Vertiefungen der Gestalt $\pm \frac{P-1}{2}$ der rhomboederähnlichen Hälfte angehören. Diese sind im Falle *α)* entweder $+ r$ und $+ l$ oder $- r$ und $- l$, also in paralleler Stellung und bedingen daher eine regelmässige Zusammensetzungsfläche (Taf. I), dagegen im Falle *β)* wo die einen Vertiefungen $+$ die andern $-$ sind, also in verwendeter Stellung stehen, Zwischenräume zwischen der Verbindung der Individuen entstehen, welche von den Theilchen des andern Individuums ausgefüllt werden, was eine unregelmässige Grenze verursacht (Taf. II).

Ad III. Eine eigenthümliche Erscheinung entsteht, wenn sich oben erwähnte Vertiefungen mit den gewundenen Kanten in eine vollkommen gerade Linie stellen, die dann immer parallel einer Seite von $P + \infty$ ist. Man findet Fälle, wo die einzelnen vertieften Ecken noch deutlich getrennt sind (Taf. V, *k*), andere wo sie sich bedeutend einander nähern (*l*), und endlich solche, wo sie ganz mit einander verschmelzen (*m*, *n*) und eine geradlinigfortlaufende, grabenähnliche Vertiefung bilden, so dass man eine vollkommene Reihe in dieser Erscheinung nachweisen kann und daraus sieht, dass diese zuweilen erscheinenden geradlinigen Streifen keine Zufälligkeit sind, sondern einem bestimmten Gesetze folgen, nach welchem ganze Krystalle von Amethyst zuweilen zusammengesetzt sind. Die Dreiecke haben gegen die Richtung der Furche eine geneigte Lage, und wenn sie sich mit einander vereinigen, entsteht eine Streifung der Furche, die jedoch an beiden Seiten derselben verschieden ist, auf der einen Seite bilden die Streifungslinien einen stumpferen (*o*), auf der andern einen scharfen (*s*) Winkel, entsprechend den Kanten der Dreiecke, aus welchem die Furche besteht.

Hierbei sind drei Erscheinungen besonders beachtenswerth, nämlich:

a) Diese Furche geht durch *r* und *l* ungehindert geradlinig hindurch.

b) Die Dreiecke aber, aus denen die Furche besteht, richten sich nach der Art der umgebenden Substanz, so dass, wenn die Furche aus dem *r* ins *l* geht, man an der Grenze deutlich die umgekehrte Stellung der Streifung dieser Furche wahrnimmt. (Auf Taf. V, *t* bis *u*, sieht man diese umgekehrte Streifung).


Fig. 1.
Richtung des einfallenden Lichtes.
Fig. 2.
12 + verg.
Fig. 3.
+ links.
Fig. 4.
+ rechts.